

STUDI SUSUT DAYA LISTRIK AKIBAT ARUS HARMONIK PADA PEMAKAIAN LAMPU HEMAT ENERGI



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ARIFUDIN

D400150023

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI SUSUT DAYA LISTRIK AKIBAT ARUS HARMONIK
PADA PEMAKAIAN LAMPU HEMAT ENERGI**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

ARIFUDIN

D400150023

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Jatmiko, M.T

NIK. 622

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI SUSUT DAYA LISTRIK AKIBAT ARUS HARMONIK PADA PEMAKAIAN LAMPU HEMAT ENERGI

OLEH

ARIFUDIN

D400150023

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 16 Juli 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Jatmiko, M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Agus Supardi, S.T., M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph.D

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 8 Juli 2019

Penulis


ARIFUDIN

D400150023

STUDI SUSUT DAYA LISTRIK AKIBAT ARUS HARMONIK PADA PEMAKAIAN LAMPU HEMAT ENERGI

Abstrak

Manusia dalam melakukan aktivitasnya membutuhkan bantuan penerangan dalam hal ini adalah lampu. Banyak sekali dijumpai lampu pijar dalam masyarakat. Lampu pijar adalah lampu yang memancarkan cahayanya dari kawat yang berpijar saat ada arus listrik. Pada akhir-akhir ini penggunaan lampu pijar menurun dan mulai tergantikan oleh lampu hemat energi yang diklaim lebih hemat energi. Lampu hemat energi memiliki nilai efikasi cahaya yang lebih baik dibanding dengan lampu pijar. Dengan daya yang sama lampu hemat energi memiliki fluks cahaya yang lebih tinggi, dan hasilnya lampu hemat energi lebih terang, sehingga bisa dikatakan lampu hemat energi lebih efektif dari lampu pijar. Dari kondisi tersebut wajar jika banyak masyarakat yang mengganti lampu pijar mereka dengan lampu hemat energi. Dibalik sisi hemat energinya ternyata lampu hemat energi menyimpan kerugian, yaitu dari segi kualitas daya, karena lampu hemat energi mengandung harmonik. Adanya harmonik bisa dilihat dari pengukuran THD (*Total Harmonic Distortion*). Dari hasil pengukuran diketahui bahwa harmonik pada lampu hemat energi adalah terjadi pada orde ganjil, hal ini berlaku untuk semua merek lampu hemat energi yang digunakan. Harmonik arus dari semua sampel hampir mencapai 100% dan harmonik tegangan dari semua sampel tidak mencapai 10%. Harmonik juga akan berakibat menurunkan nilai faktor daya. Nilai faktor daya sebenarnya rata-rata hanya berkisar pada 0,503. Pada penelitian ini diketahui melalui perhitungan bahwa dari sepuluh sampel lampu hemat energi memiliki nilai susut daya akibat arus harmonik yang besar. Lampu hemat energi dengan daya 45 watt memiliki susut daya terbesar. Secara umum lampu hemat energi dengan daya yang besar mempunyai susut daya yang besar juga.

Kata Kunci: Lampu Hemat Energi, Harmonik, Susut Daya.

Abstract

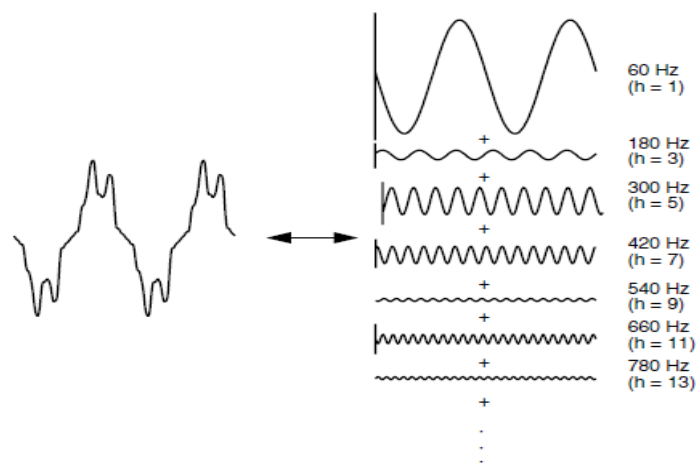
Humans in carrying out their activities need lighting assistance in this case is a lamp. Many incandescent lights are found in society. Incandescent lights are lights that emit light from wire that glows when there is an electric current. In recent years the use of incandescent bulbs has declined and has been replaced by energy saving lamp that are claimed to be more economical. Energy saving lamps have better light efficacy values compared to incandescent lamps. With the same power, energy saving lamps have a higher light flux, and as a result energy saving lamps are brighter, so that energy saving lamps can be said to be more effective than incandescent lamps. From these conditions it is natural that many people replace their incandescent lamps with energy-saving lamps. Behind the energy-saving side evidently that Energy Saving Lamp has disadvantage, namely in terms of power quality, because Energy Saving Lamp contain harmonics. The presence of harmonics can be seen from the measurement of the THD (*Total Harmonic Distortion*). From the measurement known that the harmonics in Energy Saving Lamp are occurring in odd order, this applies to all merk energy saving lamps. The current harmonics of all samples reached 100% and the harmonic voltage of all samples reached under 10%. Harmonics will also result in lowering the power factor value. The value of the actual power factor averages only around 0.503. In this study it is known through the calculation that of the ten samples energy saving lamp have a power decrease value due to large harmonic currents. Energy saving lamp with 45 watts have the biggest power loss. Generally energy saving lamp with high power have high power losses too.

Keywords: Energy Saving Lamp, Harmonic, Power Losses.

1. PENDAHULUAN

Lampu adalah salah satu peralatan yang banyak digunakan oleh masyarakat. Pada awalnya jenis lampu yang banyak digunakan adalah jenis lampu pijar, namun perlahan-lahan lampu pijar mulai ditinggalkan dan tergantikan oleh kehadiran lampu hemat energi. Banyak ditemui berbagai macam merk lampu hemat energi yang muncul dipasaran dengan harga yang bervariasi juga. Hal ini mengindikasikan semakin meningkatnya minat masyarakat terhadap lampu hemat energi. Dengan daya yang sama lampu hemat energi mampu menghasilkan cahaya yang lebih terang dibanding dengan lampu pijar. Ini karena lampu hemat energi memiliki nilai efikasi cahaya yang lebih baik dari lampu pijar, efikasi adalah perbandingan fluks cahaya dengan daya (Hermawan 2005). Semakin besar nilai efikasi artinya semakin besar energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya (abdul, 2008).

Selain dari keuntungan tersebut lampu hemat energi mempunyai kerugian yaitu timbulnya harmonik arus dan juga harmonik tegangan. Menurut Surajit penyebab utama buruknya kualitas daya adalah karena harmonik dan daya reaktif (Surajit, 2011). Harmonik adalah terbentuknya gelombang dengan frekuensi yang lebih tinggi hasil dari perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya (Dugan, 2002). Dalam harmonik ada istilah *harmonic number* (h) yaitu elemen frekuensi individu, contoh $h=5$ menjelaskan tentang komponen harmonik kelima, jika frekuensi dasar 60 Hz maka frekuensi harmonik kelima adalah $5 \times 60 = 300$ Hz (Sankaran, 2002). Dengan adanya gelombang harmonik akan menyebabkan distorsi gelombang arus dan tegangan.



Gambar 1 Bentuk gelombang harmonik frekuensi dasar 60 Hz

Untuk mengetahui seberapa besar nilai seluruh harmonik terhadap frekuensi dasarnya digunakan istilah THD (*Total Harmonic Distortion*). THD dinyatakan dalam bentuk persen.

Lampu hemat energi adalah salah satu sumber dari beban nonlinear terbesar karena didalamnya mengandung *ballast*. Ada 2 jenis *ballast* yang umum digunakan, yaitu *magnetic ballast* dengan frekuensi rendah dan *electronic ballast* dengan frekuensi yang lebih tinggi (Rosa 2006).

2. METODE

2.1. Rancangan penelitian

Penelitian ini terselesaikan dengan rancangan sebagai berikut:

1) Studi literatur

Studi literatur adalah tahapan awal dimana penulis mengkaji beberapa sumber yang didapat termasuk jurnal, buku-buku maupun situs dari internet yang berkaitan dengan studi susut daya listrik akibat arus harmonik pada pemakaian lampu hemat energi.

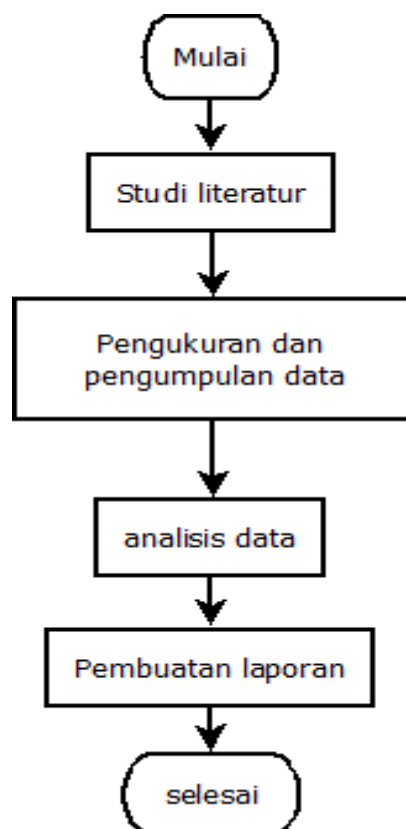
2) Pengukuran dan pengumpulan data

Data yang diukur adalah tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, THD arus serta THD tegangan.

3) Analisa data

Data-data yang telah diperoleh dari pengukuran selanjutnya di hitung untuk mencari besar susut dayanya dan dianalisa hasilnya.

2.2. Diagram alir penelitian



Gambar 2 Diagram alir penelitian

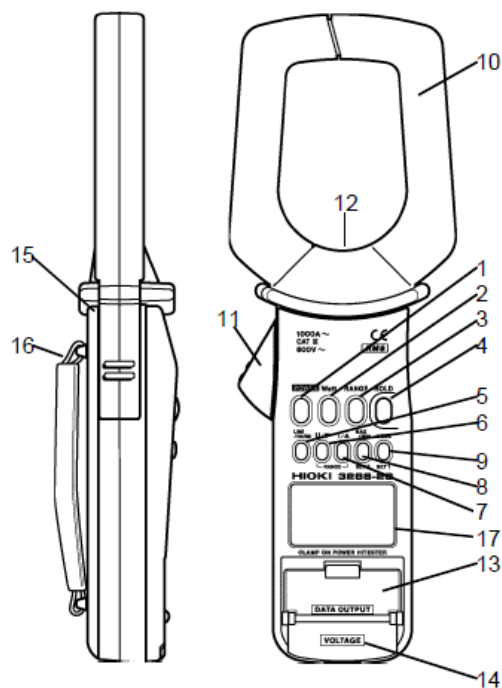
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Alat ukur dan cara pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan Hioki 3286-20 Clamp On Hi Tester yang dipinjam dari laboratorium Teknik Elektro UMS.



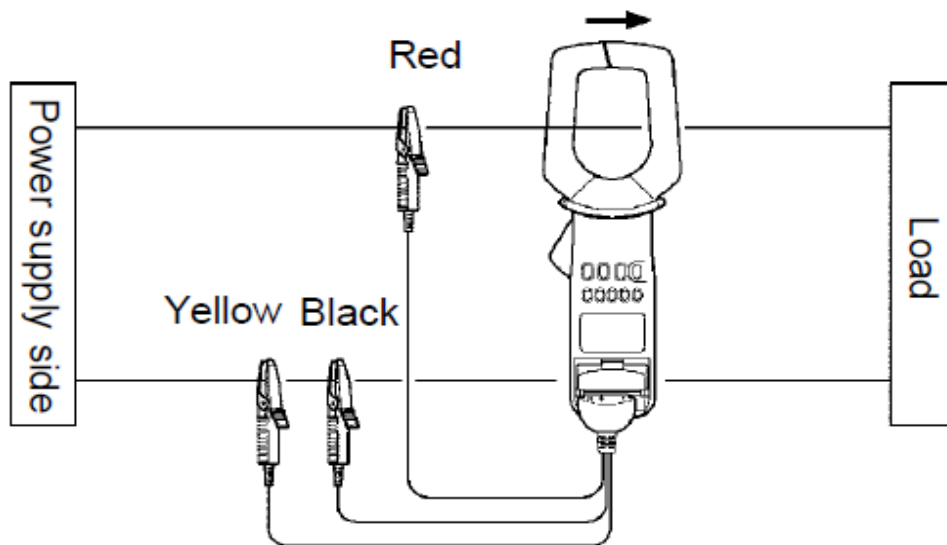
Gambar 3 Hioki 3286-20 Clamp On Hi Tester



No	Keterangan
1	POWER
2	WATT Key
3	RANGE Key
4	HOLD Key
5	LINE/HARM Key
6	U/▲ (RANGE) Key
7	I/▲ (RANGE) Key
8	MAX/MIN (SET 2) Key
9	MODE (SET 1) Key
10	Clamp sensor
11	Lever
12	Current direction mark
13	Data output terminal
14	Voltage measurement terminal
15	Back case
16	Hand strap

Gambar 4 Bagian dari Hioki 3286-20 Clamp On Hi Tester

Pengukuran ini menggunakan 20 buah Lampu Hemat Energi sebagai sampel dengan besarnya nilai beban dan merek yang bervariasi. Semua merk lampu diganti dengan huruf dan diikuti angka sebagai urutan harga. Huruf A untuk kelompok lampu dengan daya 5 watt, huruf B untuk 23 watt, huruf C untuk 32 watt dan huruf D untuk lampu 45 watt. Urutan angka dimulai dari harga lampu yang paling murah dipasaran. Sebelum melakukan pengukuran terlebih dahulu membaca *manual book* Hioki 3286-20 Clamp On Hi Tester yang tersedia. Data yang akan penulis ukur adalah daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), faktor daya (COSPI), THD arus serta THD tegangan. Langkah pertama menyambungkan *red cord*, *yellow cord*, *black cord* dengan rangkaian yang akan kita ukur, serta *voltage cord* disambungkan juga dengan terminal yang ada pada alat ukurnya. Lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Pemasangan alat ukur untuk pengukuran 1 fasa

Setelah semua tersambung seperti pada gambar 5 maka nyalakan alat ukurnya dengan cara menekan tombol power, kemudian tekan tombol *LINE/HARM* pilih 1 ϕ P untuk mengukur daya. LCD akan menampilkan daya aktif (P), tegangan (V) dan arus (I). Tekan *WATT Key* untuk menampilkan daya semu (S) dan faktor daya (Cosphi) tekan *MODE Key* untuk melihat nilai daya reaktif (Q). *Switch LINE/HARM* pilih 1 ϕ HARM I untuk mengukur THD arus dan 1 ϕ HARM U untuk mengukur THD tegangan. Tombol *U/▲* dan *I/▲* digunakan untuk melihat nilai harmonik orde 1 sampai maksimal orde 20. Sebelum melakukan pencatatan tekan tombol *HOLD* supaya data yang ditampilkan LCD tidak berubah.

3.2 Hasil pengukuran

Hasil pengukuran dari masing-masing beban ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 hasil pengukuran

Kelompok Daya	Lampu	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	DPF	V1 RMS (V)	THD _v (%)	I1 RMS (I)	THD _i (%)
5 watt	A1	3	4	3	0,71	219,2	2,6	0,02	99,5
	A2	5	7	5	0,72	218,8	2,4	0,03	91
	A3	4	7	5	0,61	219,2	2,5	0,03	82,3
	A4	4	7	5	0,63	219,3	2,5	0,03	84,6
	A5	4	7	5	0,6	219,6	2,4	0,03	86,8
	A6	3	4	3	0,71	218,7	2,5	0,02	90,3
	A7	3	4	3	0,71	218,8	2,3	0,02	89,1
23 watt	B1	25	37	30	0,64	215,6	2,6	0,18	99,5
	B2	22	33	25	0,66	218,9	2,5	0,15	89,6
	B3	23	35	26	0,66	219	2,7	0,16	88,4
	B4	22	34	26	0,64	215,5	2,6	0,16	89,9
	B5	23	33	23	0,7	217	2,6	0,15	87,9
32 watt	C1	29	40	29	0,7	203	4,1	0,2	77,4
	C2	31	48	36	0,65	207,7	4	0,23	82,2
	C3	32	42	27	0,76	201,4	4,2	0,21	79,4
45 watt	D1	35	53	39	0,67	203,9	4,1	0,26	85,9
	D2	43	66	50	0,65	207,5	4,1	0,32	95,2
	D3	44	64	46	0,69	207,1	3,9	0,31	96,1
	D4	42	59	42	0,71	205,2	4	0,29	89,7
	D5	45	65	47	0,69	209	3,7	0,31	95,6

Pada saat sampling tegangan harmonik menunjukkan nilai dasar tegangan, karena hanya berubah beberapa persen saja maka THD_v bisa menjadi acuan. Kondisi seperti ini tidak berlaku untuk arus. Arus yang kecil bisa saja menghasilkan THD yang tinggi namun hal ini tidak mempengaruhi sistem. Prinsip alat pengukur THD dalam mengukur THD berdasar proses sampling sesaat. Contoh pada *Adjustable speed Drives* akan menunjukkan THD_i yang tinggi saat beroperasi dengan beban yang rendah, angka THD ini tidak perlu dikhawatirkan karena arus harmonik yang sebenarnya adalah kecil. Atas dasar inilah IEEE memakai besaran lainnya sebagai standar yaitu TDD (*Total Demand Distortion*) (Dugan, 2002).

Menurut standar IEEE 519-1992 ada dua kriteria dalam mengevaluasi distorsi harmonik yaitu batasan untuk harmonik tegangan dan batasan untuk harmonik arus. Batasan untuk harmonik arus ditentukan oleh perbandingan I_{SC}/I_L . I_{SC} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*) dan I_L adalah arus beban maksimal pada frekuensi fundamental (alexander & Thompson, 2007). Sedangkan untuk batasan harmonik tegangan ditentukan oleh besarnya tegangan sistem yang dipakai. Pada tabel 1 diketahui bahwa nilai THDv sangat rendah tidak mencapai 5% hal ini sesuai dengan standar IEEE 519-1992. Menurut standar IEEE 519-1992 untuk tegangan dibawah 69 kV nilai THDv maksimal 5% (Thomas & Daniel, 2005).

3.3 Analisa rugi daya

Dalam kondisi beban yang nonsinusoida maka nilai dari komponen rms akan meningkat sebagai akibat dari adanya harmonik. Secara umum nilai rms dinyatakan dengan menggunakan persamaan:

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2} \quad (1)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} \quad (2)$$

Keterangan:

THD_I : total distorsi harmonik arus (%)

THD_v : total distorsi harmonik tegangan (%)

V_{rms} : tegangan pada kondisi beban nonlinear (V)

I_{rms} : arus pada kondisi beban nonlinear (A)

Daya semu dihasilkan dari pembangkitan yang kemudian di transmisikan ke konsumen, sedangkan konsumen membayar tidak berdasarkan daya semu melainkan berdasarkan daya aktif yang dipakai. Bertambahnya daya reaktif akan menyebabkan nilai faktor daya menurun. Sehingga sistem yang baik adalah yang memiliki nilai faktor daya mendekati satu, artinya daya reaktif yang dikonsumsi sangat sedikit. Hal ini sesuai dengan persamaan:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (3)$$

Beberapa hal mengenai faktor daya:

1. Faktor daya *displacement* (DPF) atau faktor daya fundamental adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu saat kondisi normal.
2. Faktor daya *distorsi* (pf_{dist}) adalah faktor daya sebagai akibat dari adanya distorsi tegangan dan distorsi arus pada kondisi harmonik.
3. Faktor daya sebenarnya (PF) adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu pada kondisi harmonik. Sehingga PF dipengaruhi oleh THD.

Pada kondisi beban yang linear hanya ada satu faktor daya $DPF = PF$.

$$DPF = PF = \frac{P_{avg}}{V_{rms} \times I_{rms}} \quad (4)$$

Jika pada kondisi harmonik maka nilai PF dihitung dengan cara mensubstitusi persamaan (1) dan (2) kedalam persamaan (4).

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{1rms} \times I_{1rms} \times \sqrt{1 + \left(\frac{THDV}{100}\right)^2} \times \sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2}} \quad (5)$$

Persamaan (5) bisa disederhanakan dengan menganut pada dua asumsi berikut:

1. Pada banyak kasus harmonik memiliki pengaruh yang kecil terhadap daya rata-rata, maka $P_{avg} \approx P_{1avg}$.
2. Distorsi harmonik biasanya dibawah 10% sehingga THDV tidak terlalu mempengaruhi, $V_{rms} \approx V_{1rms}$.

Dari penggabungan kedua asumsi diatas kedalam persamaan (5) maka akan menghasilkan persamaan lain, yaitu:

$$PF \approx \frac{P_{1avg}}{V_{1rms} \times I_{1rms}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2}} = DPF \times pf_{dist} \quad (6)$$

Faktor daya *displacement* selalu bernilai dibawah 1 sehingga bisa disimpulkan bahwa faktor daya yang sebenarnya (PF) memiliki batasan yaitu:

$$PF \leq pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2}} \quad (7)$$

Menurut C. Budeanu pada keadaan nonsinusoida daya semu (S) ditentukan dengan persamaan:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (8)$$

Dengan D adalah daya distorsi (VAd), Sehingga untuk mencari nilai daya distorsi (D) adalah:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (9)$$

Dari persamaan (9) bisa diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{V_{RMS}^2 I_{RMS}^2 - V_{RMS}^2 I_{1RMS}^2 \cos^2 \varphi_1 - V_{RMS}^2 I_{RMS}^2 \sin^2 \varphi_1} \\ D &= \sqrt{V_{RMS}^2 I_{RMS}^2 - V_{RMS}^2 I_{1RMS}^2 (\cos^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_1)} \\ D &= \sqrt{V_{RMS}^2 I_{RMS}^2 - V_{RMS}^2 I_{1RMS}^2} \\ D &= V_{RMS} \sqrt{I_{RMS}^2 - I_{1RMS}^2} \end{aligned} \quad (10)$$

Arus harmonik (I_{HAR}) bisa diketahui setelah arus efektif dalam kondisi harmonik (I_{rms}) dihitung menggunakan persamaan (2). Adapun rumus menghitung (I_{HAR}) adalah:

$$\begin{aligned} I_{RMS} &= \sqrt{I_{FUND}^2 + I_{HAR}^2} \\ I_{HAR} &= \sqrt{I_{RMS}^2 - I_{FUND}^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Pada keadaan harmonisa rugi-rugi daya (P_{LOSS}) akan lebih besar jika dibanding pada keadaan fundamental. Hal ini terjadi karena adanya arus harmonik (I_{HAR}). Persamaan untuk P_{LOSS} adalah:

$$P_{LOSS} = \sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2 R_k = R \sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2 = I_{RMS}^2 R \quad (12)$$

Mengacu pada persamaan-persamaan diatas maka contoh perhitungan pada lampu A1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PF_{dist} &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{99,5}{100}\right)^2}} \\ &= 0,71 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PF &= DPF \times pf_{dist} \\ &= 0,71 \times 0,71 = 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{rms} &= V_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2} \\ &= 219,2 \sqrt{1 + \left(\frac{2,6}{100}\right)^2} \\ &= 219,274 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{rms} &= I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2} \\ &= 0,02 \sqrt{1 + \left(\frac{99,5}{100}\right)^2} \\ &= 0,028 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{HAR} &= \sqrt{I_{RMS}^2 - I_{FUND}^2} \\ &= \sqrt{0,028^2 - 0,02^2} \\ &= 0,0196 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= V_{RMS} \sqrt{I_{RMS}^2 - I_{1RMS}^2} \\ &= 219,274 \sqrt{0,028^2 - 0,02^2} \\ &= 4,2978 \text{ VAd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{FUND} &= V_{RMS} \times I_{FUND} \times DPF \\ &= 219,274 \times 0,02 \times 0,71 = 3,1137 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Distorsi}(D) \times DPF &= 4,2978 \times 0,71 = 3,0514 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{TOTAL} = 3,1137 + 3,0514 = 6,1651 \text{ W}$$

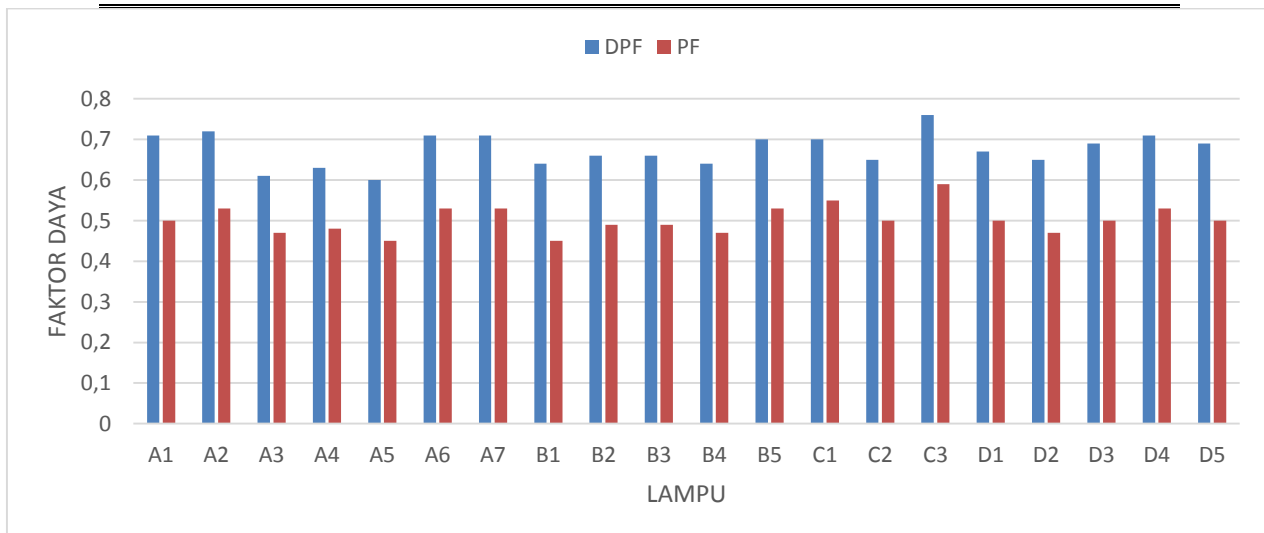
$$\begin{aligned} Z &= \frac{V_{RMS}^2}{P_{TOTAL}} \\ &= \frac{219,274^2}{6,1651} \\ &= 7798,9144 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{LOSS} &= I_{HAR}^2 \times Z \\ &= 0,0196^2 \times 7798,9144 \\ &= 2,996 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan data pada tabel 1 dan dengan cara yang sama seperti diatas, maka dapat ditentukan besarnya rugi daya untuk semua lampu.

Tabel 2 hasil perhitungan faktor daya, komponen rms dan Ihar

Kelompok Daya	Lampu	DPF	PF DIST	PF	VRMS (V)	IRMS (A)	I HAR (A)
5 watt	A1	0,71	0,71	0,5	219,274	0,028	0,0196
	A2	0,72	0,74	0,53	218,863	0,041	0,0279
	A3	0,61	0,77	0,47	219,268	0,039	0,0249
	A4	0,63	0,76	0,48	219,369	0,039	0,0249
	A5	0,6	0,76	0,45	219,663	0,04	0,0265
	A6	0,71	0,74	0,53	218,768	0,027	0,0181
	A7	0,71	0,75	0,53	218,858	0,027	0,0181
23 watt	B1	0,64	0,71	0,45	215,673	0,254	0,1792
	B2	0,66	0,74	0,49	218,968	0,201	0,1338
	B3	0,66	0,75	0,49	219,08	0,214	0,1421
	B4	0,64	0,74	0,47	215,573	0,215	0,1436
	B5	0,7	0,75	0,53	217,073	0,2	0,1323
32 watt	C1	0,7	0,79	0,55	203,171	0,253	0,1549
	C2	0,65	0,77	0,5	207,866	0,298	0,1895
	C3	0,76	0,78	0,59	201,578	0,268	0,1665
45 watt	D1	0,67	0,76	0,5	204,071	0,343	0,2237
	D2	0,65	0,72	0,47	207,674	0,442	0,3049
	D3	0,69	0,72	0,5	207,257	0,43	0,298
	D4	0,71	0,74	0,53	205,364	0,39	0,2608
	D5	0,69	0,72	0,5	209,143	0,429	0,2965



Gambar 6 Grafik perbandingan faktor daya

Dalam jaringan listrik beban jenisnya digolongkan menjadi tiga macam:

1. Beban resistif, hanya menyerap daya aktif saja sehingga faktor daya bernilai mendekati 1.
2. Beban induktif, beban ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Faktor dayanya *lagging* karena tegangan mendahului arus.
3. Beban kapasitif, beban ini menyerap daya aktif dan menghasilkan daya reaktif. Faktor dayanya *leading*, karena arus mendahului tegangan.

Beban resistif adalah jenis beban yang arus harmoniknya sangat kecil atau cenderung tidak ada. Contoh dari beban jenis ini adalah lampu pijar. Faktor daya pada beban jenis ini nilainya hampir mendekati 1. Sesuai dengan persamaan $R = V/I$ artinya beban resistif melawan tegangan dan arus secara sebanding sehingga sudut gelombang tegangan dan arus tidak mengalami pergeseran. Beban dengan sifat induktif terjadi akibat adanya lilitan kawat, contoh motor induksi. Pada motor induksi daya reaktif digunakan untuk membangkitkan medan magnet pada stator, sedangkan daya nyata digunakan untuk memutar beban pada porosnya. Induktor memiliki sifat dasar melawan arus sehingga gelombang tegangan lebih dahulu mencapai nilai puncak mendahului gelombang arus. Lampu hemat energi sendiri merupakan jenis beban yang sifatnya kapasitif, sehingga sangat wajar jika dalam pengukuran didapat nilai daya reaktifnya cenderung besar. Sifat kapasitif ini juga yang menyebabkan arus pada lampu hemat energi kecil nilainya, sehingga bisa disebut lampu hemat energi. Tabel 2 menunjukkan bahwa komponen rms pada kondisi harmonik selalu meningkat. Ketika nilai THD tinggi maka komponen rms juga meningkat semakin tinggi. Nilai arus harmonik sebanding dengan besarnya nilai THD arus. Perlu diingat juga bahwa jika nilai daya reaktif semakin besar maka akan mempengaruhi nilai faktor daya menjadi semakin kecil. Dari gambar 6 terlihat bahwa tiap lampu hemat energi memiliki nilai faktor daya yang berbeda-beda. Kita ambil contoh lampu dengan daya 5 watt dengan harga yang paling mahal (A7) faktor daya fundamentalnya adalah 0,71 setelah dihitung ternyata faktor daya yang sebenarnya adalah 0,53. Dari kondisi ini maka bisa disimpulkan bahwa turunya faktor daya ini tidak memandang harga. Sehingga harga tidak mempunyai hubungan dengan nilai faktor daya atau setiap produsen lampu mempunyai standarnya sendiri. Secara umum penggunaan beban nonlinier dalam kondisi ini lampu hemat energi maka akan menambah nilai daya reaktif sesuai dengan gambaran segitiga daya nilai sudut juga akan membesar dan menyebabkan faktor daya menurun. Untuk lebih jelasnya mengenai perbedaan nilai faktor daya bisa dilihat pada gambar 6 Grafik perbandingan faktor daya.

Tabel 3 hasil perhitungan rugi-rugi daya

Kelompok Daya	Lampu	P FUND (W)	DISTORSI (VAd)	D*DPF (W)	P TOT (W)	Z (Ω)	PLOSS (W)
5 watt	A1	3,1137	4,2978	3,0514	6,1651	7798,9144	2,996
	A2	4,7274	6,1063	4,3965	9,1239	5250,0589	4,087
	A3	4,0126	5,4598	3,3305	7,3431	6547,4331	4,059
	A4	4,1461	5,4623	3,4412	7,5873	6342,5406	3,932
	A5	3,9539	5,8211	3,4927	7,4466	6479,7134	4,55
	A6	3,1065	3,9597	2,8114	5,9179	8087,2333	2,649
	A7	3,1078	3,9613	2,8125	5,9203	8090,6076	2,651
23 watt	B1	24,8455	38,6486	24,7351	49,5806	938,1662	30,127
	B2	21,6778	29,2979	19,3366	41,0144	1169,0281	20,928
	B3	23,1348	31,1313	20,5467	43,6815	1098,7729	22,187
	B4	22,0747	30,9563	19,812	41,8867	1109,4624	22,878
	B5	22,7927	28,7188	20,1032	42,8959	1098,4893	19,227
32 watt	C1	28,4439	31,4712	22,0298	50,4737	817,8211	19,623
	C2	31,076	39,3906	25,6039	56,6799	762,3209	27,375
	C3	32,1718	33,5627	25,5077	57,6795	704,4737	19,53
45 watt	D1	35,5492	45,6507	30,586	66,1352	629,6945	31,511
	D2	43,1962	63,3198	41,1579	84,3541	511,2791	47,531
	D3	44,3323	61,7626	42,6162	86,9485	494,0334	43,872
	D4	42,2844	53,5589	38,0268	80,3112	525,1369	35,718
	D5	44,7357	62,0109	42,7875	87,5232	499,7623	43,935

Daya distorsi adalah daya yang disebabkan oleh adanya arus harmonik. Nilai daya distorsi pada lampu hemat energi sangat besar sebanding dengan nilai daya reaktif. Sedangkan daya total adalah penjumlahan dari daya fundamental dan daya distorsi. Lampu hemat energi memiliki sifat “hemat energi” maka penggunaan daya aktif pada beban ini sedikit. Rugi daya yang ditampilkan pada tabel 5 adalah akibat adanya arus harmonik, dengan nilai THD arus yang besar (tabel 1) maka sangat wajar jika nilai rugi daya pada tabel 5 besar. Yang menjadi masalah adalah faktor daya yang rendah, karena pada dasarnya karakteristik beban nonlinier menghasilkan harmonik. Untuk mengatasi hal seperti ini maka dipasang filter harmonik.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian susut daya listrik akibat arus harmonik pada lampu hemat energi maka diperoleh kesimpulan:

1. Harmonik adalah gelombang dengan frekuensi yang tinggi, sebagai akibat dari beban nonlinear.
2. Harmonik arus dan harmonik tegangan pada lampu hemat energi terjadi pada orde-orde yang ganjil.
3. Faktor daya yang nilainya semakin mendekati 1 maka kualitas dari sistem tenaga listrik juga semakin baik.
4. Adanya harmonik menyebabkan nilai dari komponen rms meningkat, hal ini mengakibatkan rugi-rugi tembaga bertambah.
5. Harga lampu hemat energi tidak memiliki pengaruh terhadap kualitas daya, setiap produsen lampu hemat energi memiliki faktor daya yang berbeda-beda.
6. Beban yang mengandung harmonik akan menyebabkan nilai faktor daya menurun, sehingga perlu adanya upaya untuk memasang filter.
7. Secara umum lampu hemat energi dengan daya yang semakin besar memiliki susut daya yang semakin besar.

PERSANTUNAN

Pada penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul “Studi Susut Daya Listrik Akibat Arus Harmonik Pada Pemakaian Lampu Hemat Energi” ini tentu penulis dibantu pihak, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas hidayah-Nya sehingga penulis bisa konsisten dalam mengerjakan tugas akhir ini dan dapat terselesaikan dalam waktu yang belum terlambat.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah mengajarkan akan pentingnya untuk senantiasa belajar sehingga secara tidak langsung penulis menjadi termotivasi.
3. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dana yang tak terbatas serta motivasi dan doa-doanya.
4. Bapak Ir. Jatmiko, MT. selaku pembimbing tugas akhir yang sudah memberikan pengarahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen teknik elektro yang telah memberikan pencerahan ilmu dan nasehatnya selama diperkuliahan.
6. Teman – teman teknik elektro angkatan 2015.
7. Dan pihak-pihak terkait yang ikut serta membantu kelancaran tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azim, Abdul. (2008). "Analisis Harmonik Pada Lampu Hemat Energi". Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Blooming, Thomas M. and Carnovale, Daniel J. (2005). *"Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic Limits"*.
- Chattopadhyay, surajit, Mitra, Madhuchhanda dan Sengupta, Samarjit. (2011). *"Electric Power Quality"*. India: Springer.
- De La Rosa, Francisco C. (2006). *"Harmonics and power system"*. Florida: Taylor & Francis Group, LLC.
- Dugan, Roger C., dkk. (2002). *"Electrical Power Systems Quality second edition"*. New York: McGraw-Hill.
- Hermawan, Karnoto. (2005), "Perancangan Software Aplikasi Optimasi Penataan Lampu PJU Sebagai Upaya Penghematan Biaya Energi Listrik". Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, Semarang.
- Kusko, Alexander and Thompson, Marc T. (2007). *"Power Quality in Electrical System"*. United State of Amerika: McGraw-Hill.
- Marbun, Benny MM., Tobing, David and Paath, Maurits A. "Efek Harmonisa Peralatan Elektronik".
- Paath, Maurits A. and Siahaan, Ferdinand. (2002). "Dampak Daya Distorsi Harmonisa dan Solusi Strategis Penerapan Pengukuran Total Energi - KVAH" Workshop PLN. (https://www.academia.edu/3765906/Dampak_Daya_Distorsi_Harmonisa_dan_Solusi_Strategis_Penerapan_Pengukuran_Total_Energi_-_KVAH_Workshop_Distribusi-PLN_Jasdik_2012)
- Sankaran, C., (2002). *"Power Quality"*. Florida: CRC Press LLC.